特别说明

此资料来自百度文库（http://wenku.baidu.com/）

您目前所看到的文档是使用的**抱米花百度文库下载器**所生成

此文档原地址来自

http://wenku.baidu.com/view/9c44d27c5acfa1c7aa00cc0b.html

感谢您的支持

抱米花

http://blog.sina.com.cn/lotusbaob

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

FLUENT6.0 的使用

能源与环境工程中心

哈尔滨工业大学

Fluent 简介

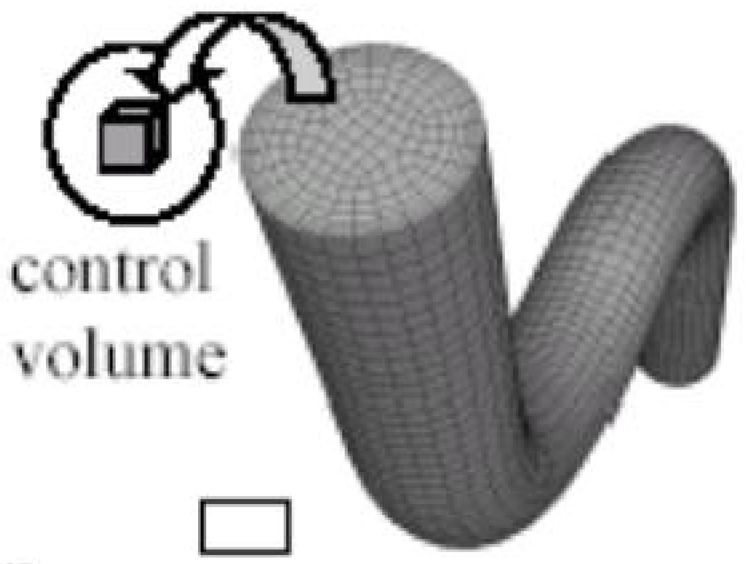
- 主流的CFD软件之一
- 主要用来计算复杂几何形状的流动和换热问题
- 其数学模型的组成主要是以纳维-斯托克斯方程与各种湍流模型为主体
  - 再加上多相流模型、热辐射模型、化学组分的输运、燃烧与化学反应流模型等.
  - 大多数附加的模型是在主体方程组上补充一些附加源项、附加输运方程与关系式.

How does CFD work?

- FLUENT solvers are based on the finite volume method.
  - Domain is discretized into a finite set of control volumes or cells.
  - General conservation (transport) equation for mass, momentum, energy, etc.,

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho\phi\, dV}_{\text{unsteady}} + \underbrace{\oint_A \rho\phi \mathbf{V}\cdot d\mathbf{A}}_{\text{convection}} = \underbrace{\oint_A \Gamma\nabla\phi\cdot d\mathbf{A}}_{\text{diffusion}} + \underbrace{\int_V S_\phi\, dV}_{\text{generation}}$$

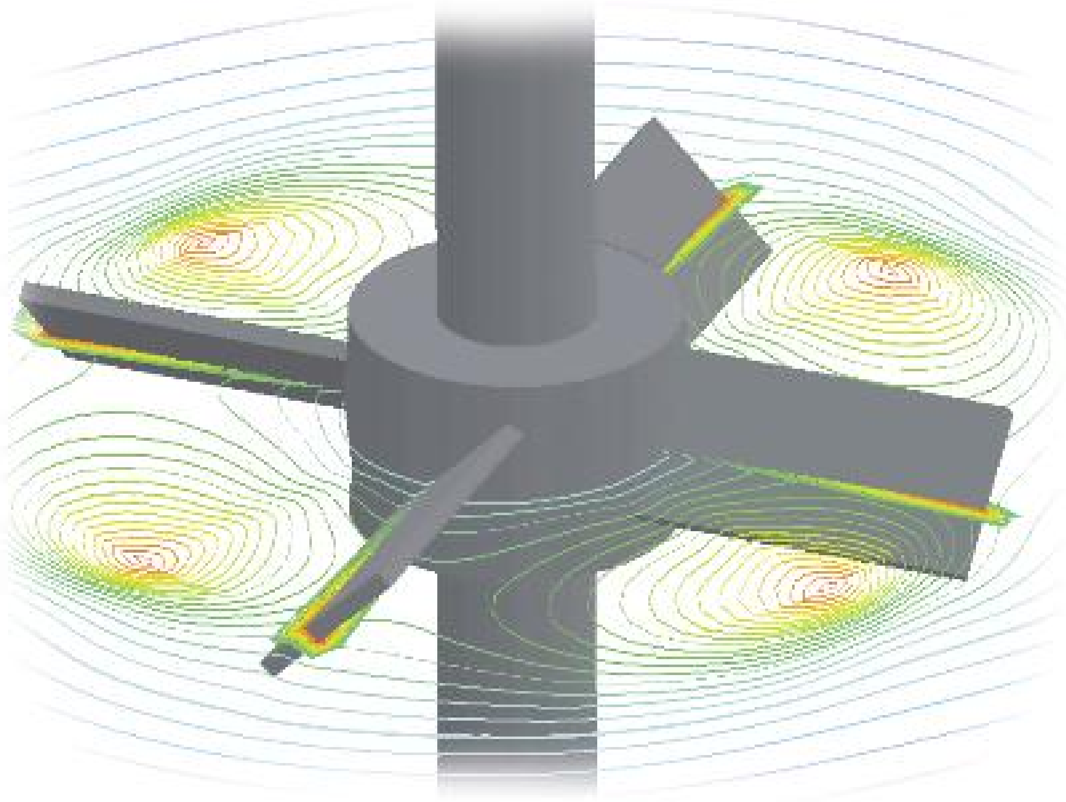
    are discretized into algebraic equations.
  - *All* equations are solved to render flow field.



Fluid region of pipe flow discretized into finite set of control volumes (mesh).

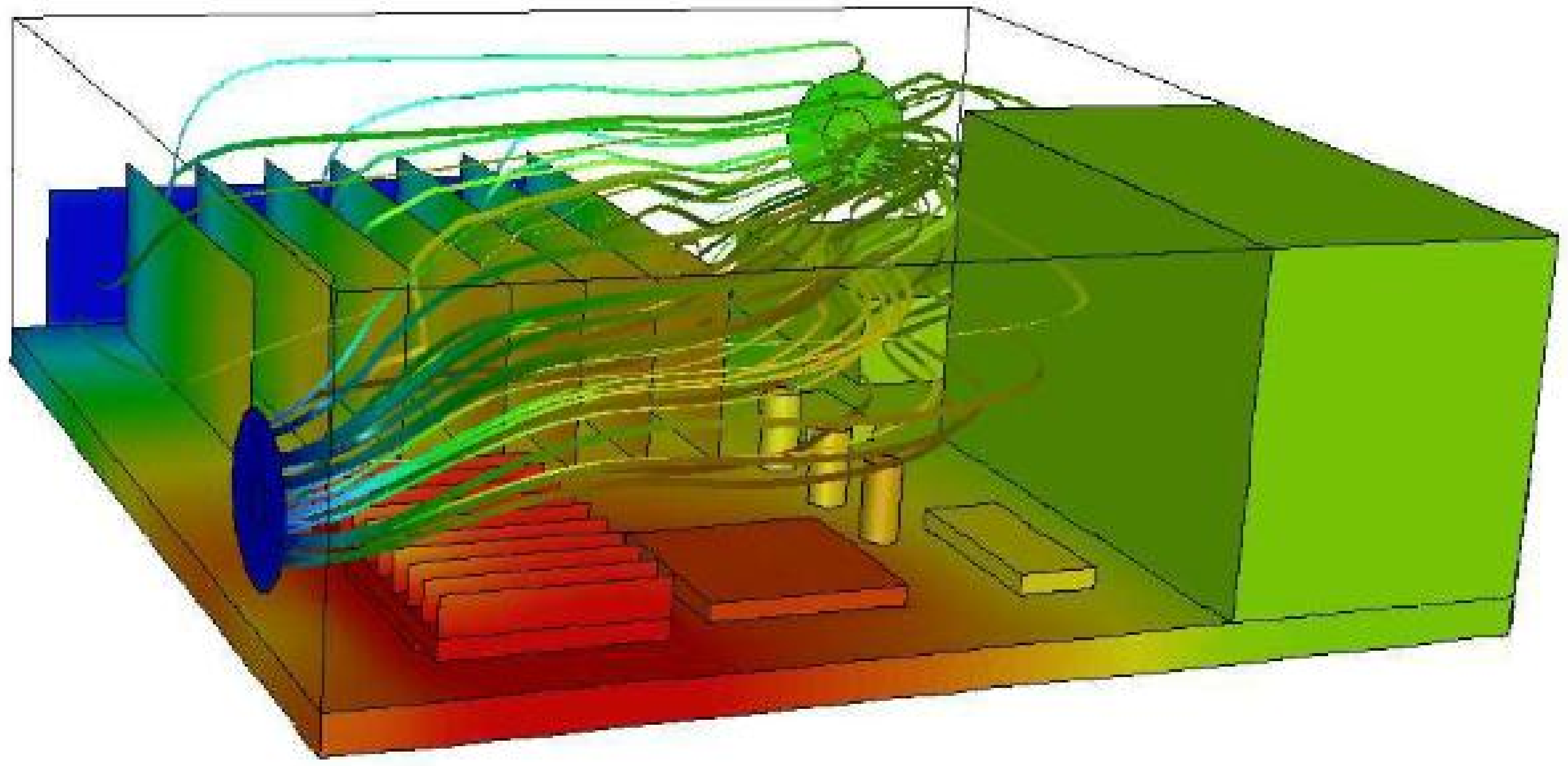
Eqn.	**ϕ**
continuity	**1**
x-mom.	**u**
y-mom.	**v**
energy	**h**

求解器

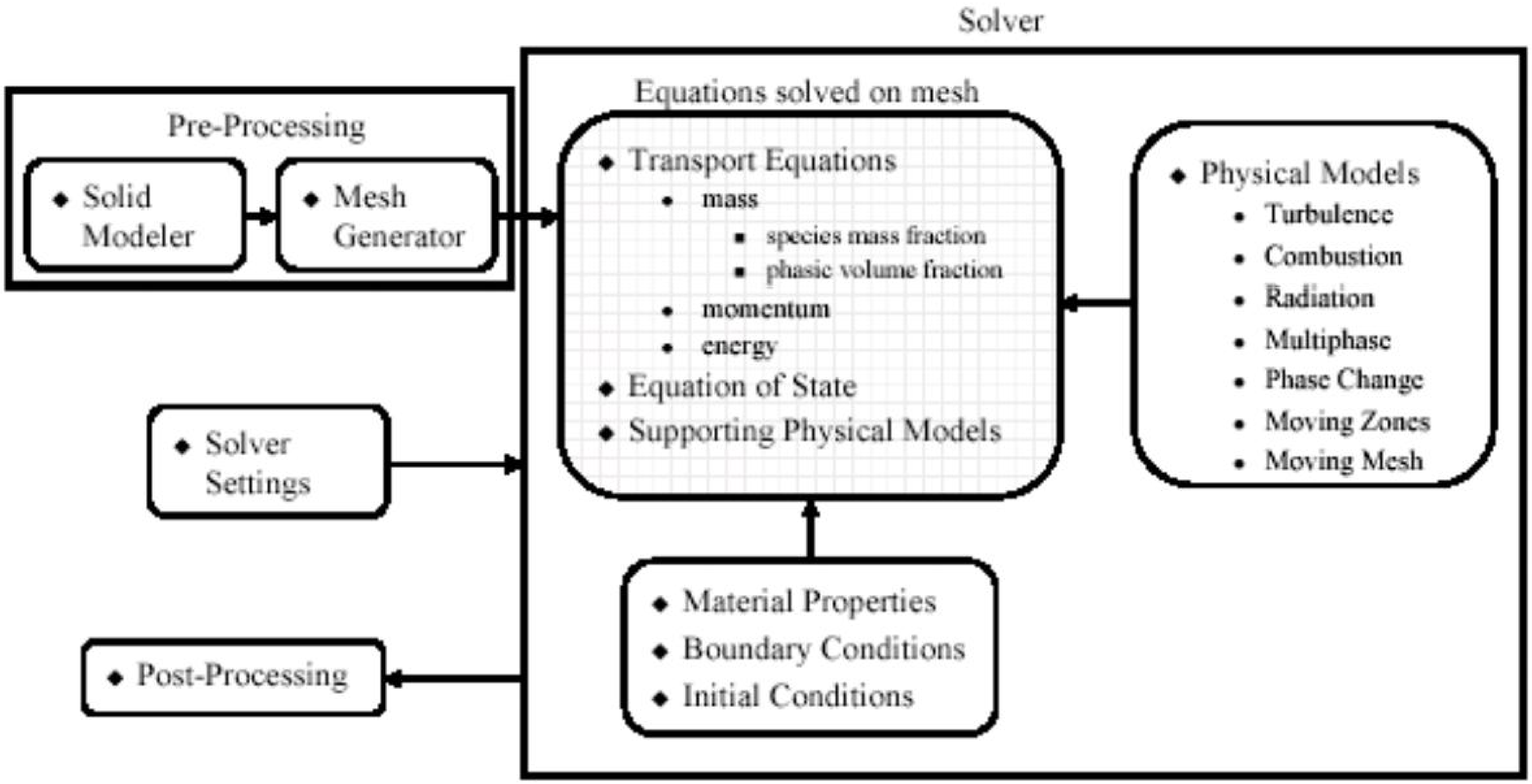


- 针对各种复杂流动的物理现象，FLUENT软件采用的不同的数值解法，以期在计算速度、稳定性和精度等方面达到优化组合，
- 形成多种解算器，可根据实际应用选择恰当的求解器

- FlowWizard，针对设计工程师使用
- FIDAP，基于有限元方法
- Polyflow，针对粘弹性流动的
- MixSim，针对搅拌混合的专用
- AirPak，强大的通风系统分析
- IcePak，专业的电子热分析
- Qfin，专门针对散热器优化



CFD Modeling Overview



产生FLUENT所需要的网格

- gambit
- Tgrid:

  在已知边界网格（由GAMBIT或者第三方CAD/CAE软件产生的）

  产生三角网格，四面体网格或者混合网格，

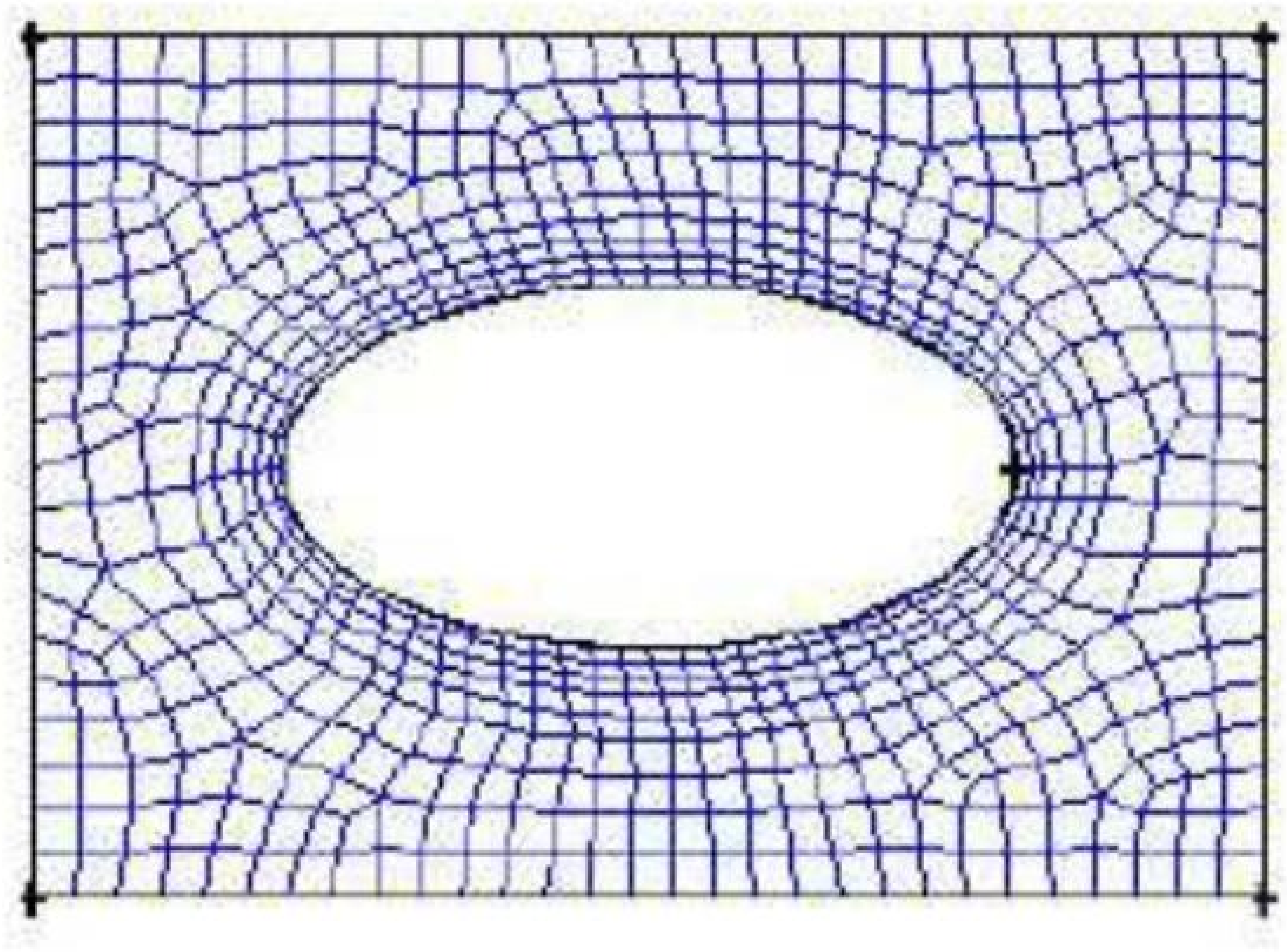
- 用其他软件（ANSYS）

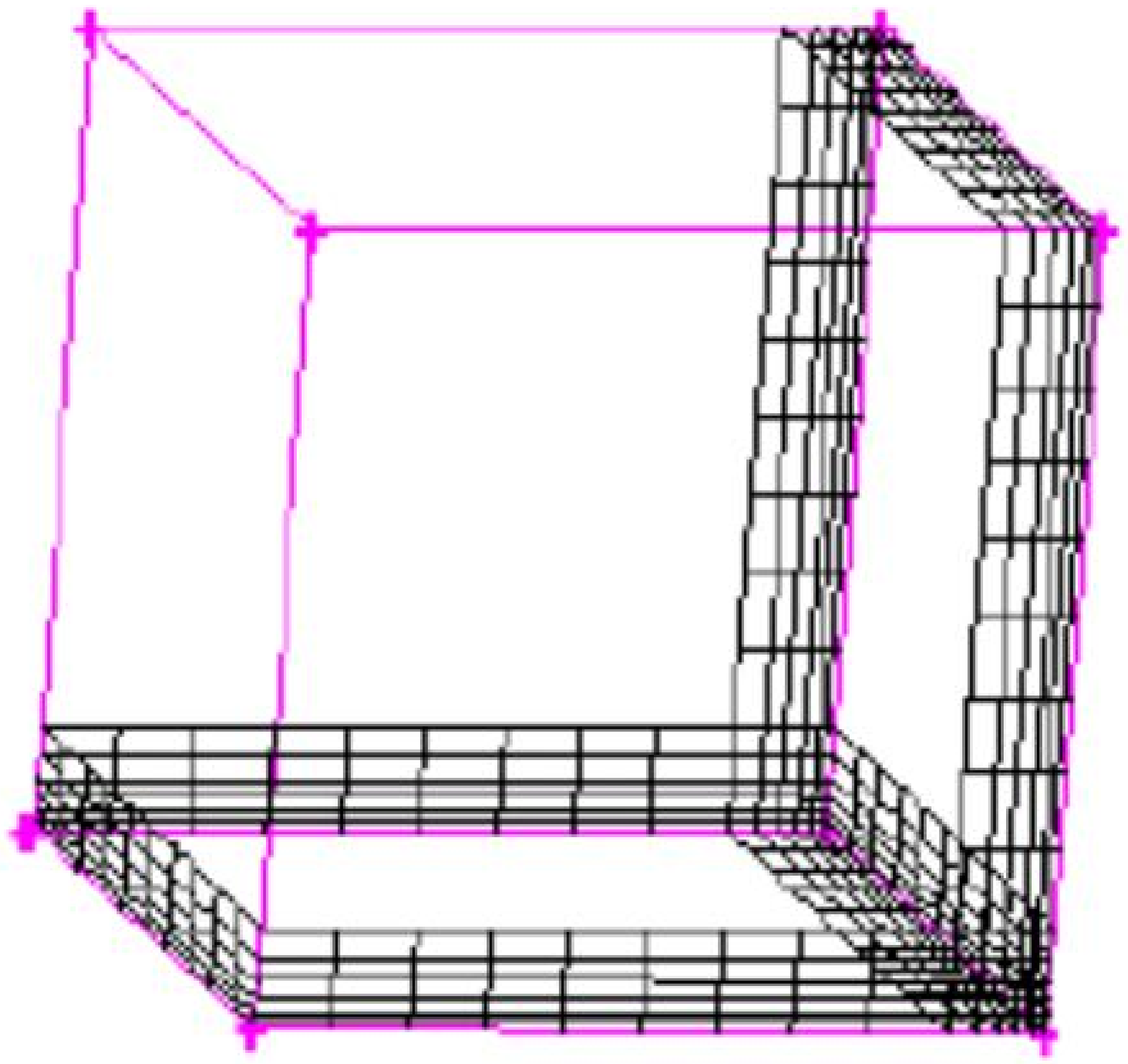
gambit单独的完整的CFD前处理器

- 建立几何体和导入几何体
- 生成网格
- 检查网格质量
- 设置边界类型和介质类型

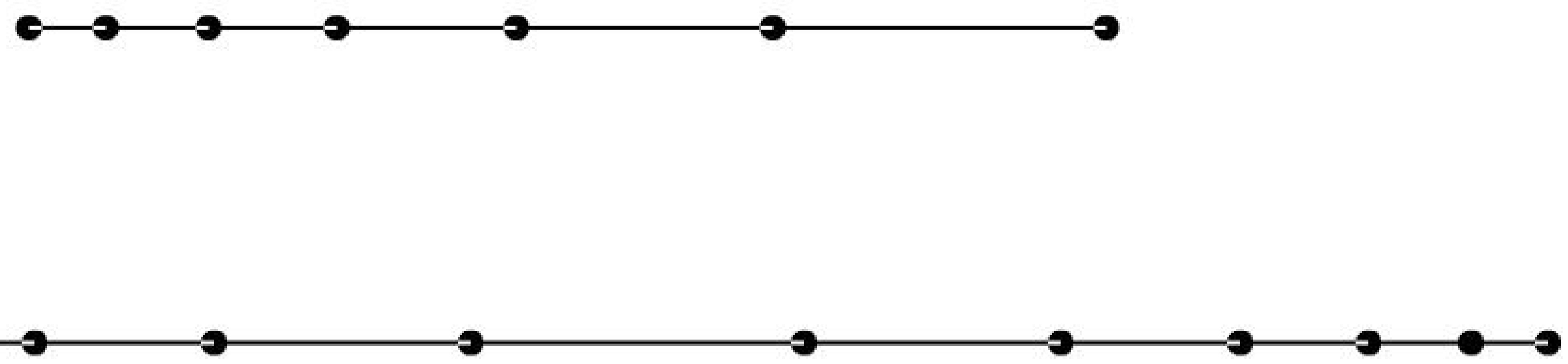
Boundary layers

- 在边界处
- 对2D问题，附着在edges
- 对3D问题，附着在faces





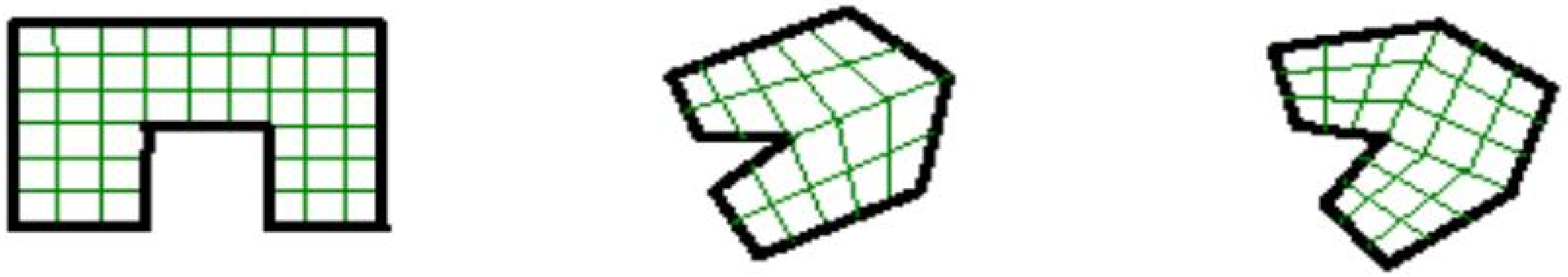
◆ 线网格划分



面网格

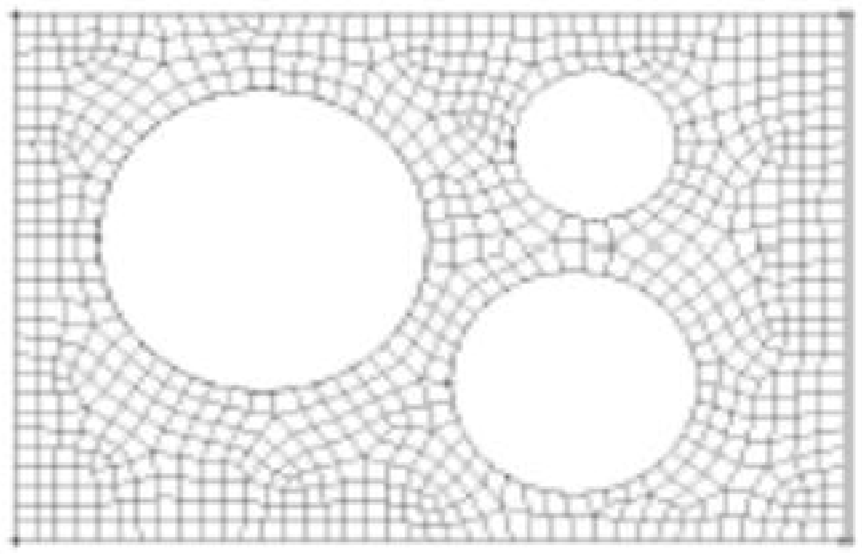
- Quad: Map

- Quad: Submap



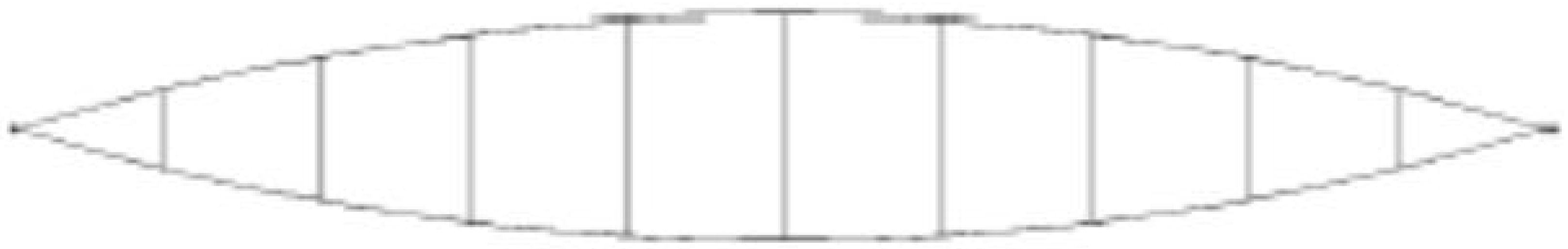
- Quad: Tri-Primitive

- Quad: Pave



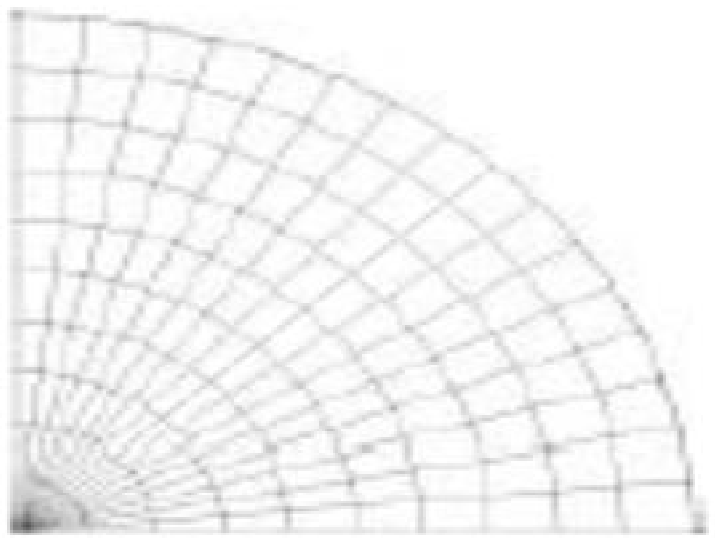
面网格

- Quad/Tri: Map

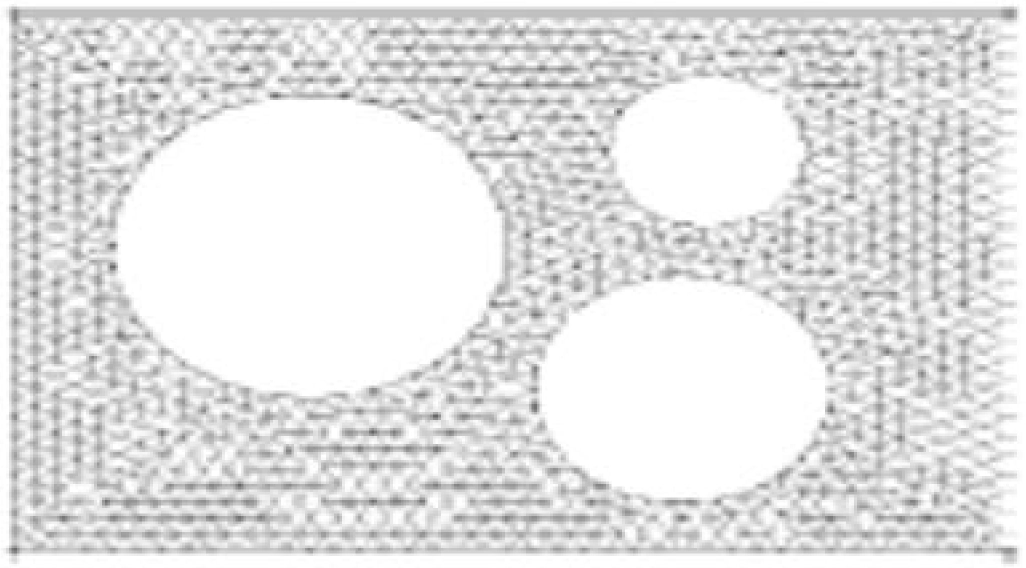


- Quad/Tri: Pave

- Quad/Tri: Wedge

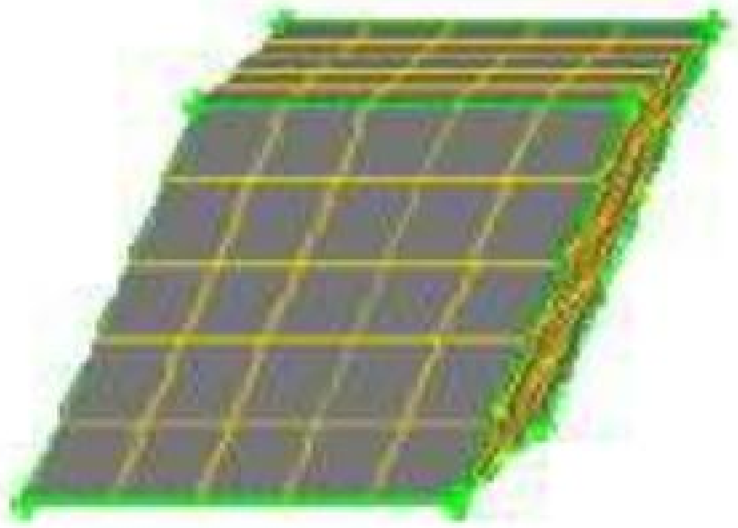


- Tri: Pave

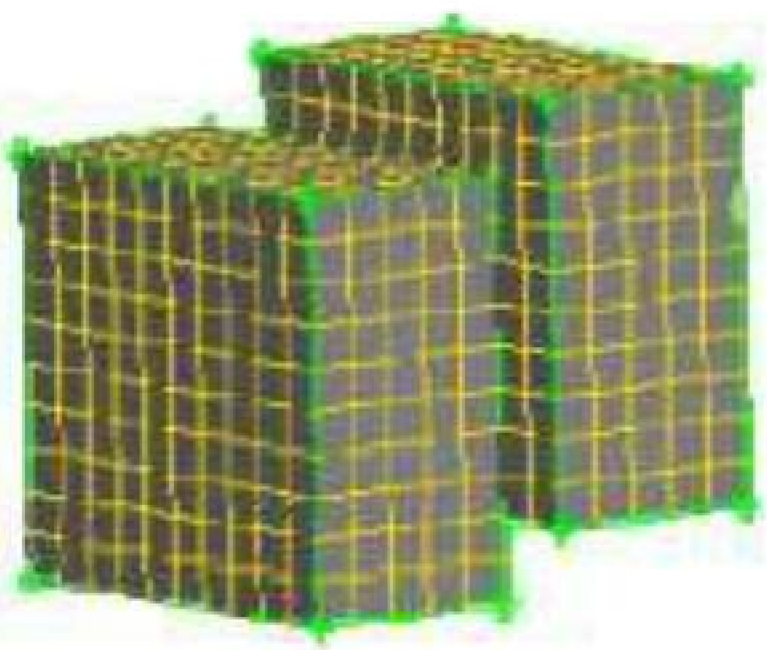


体网格

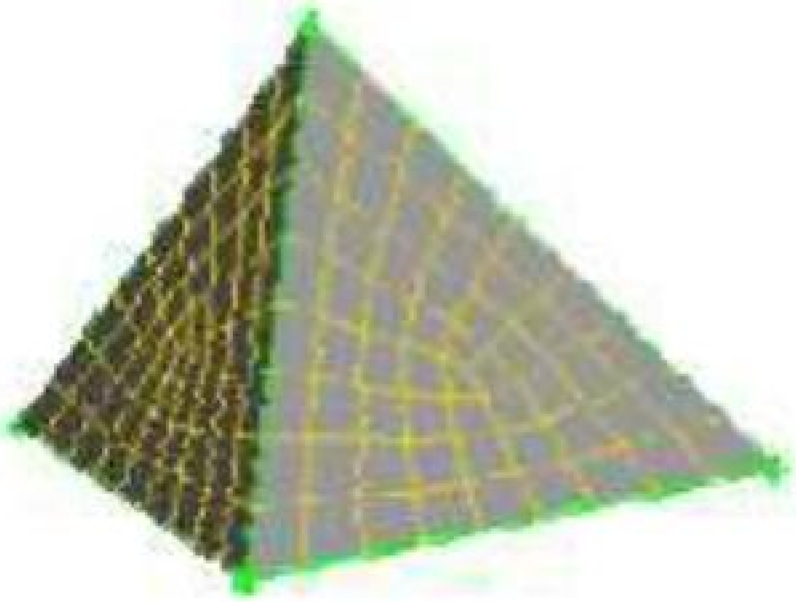
- Hex: Map



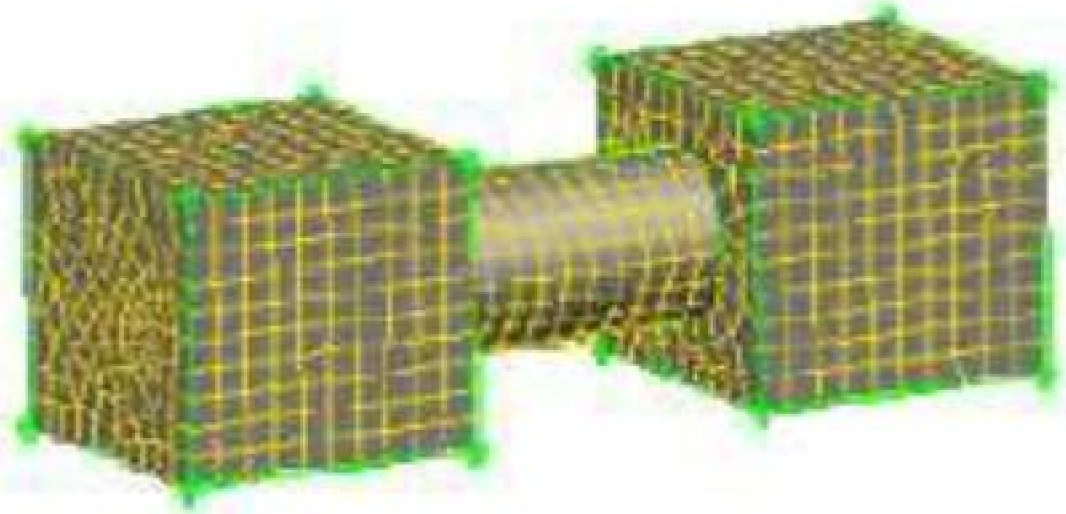
- Hex: Submap



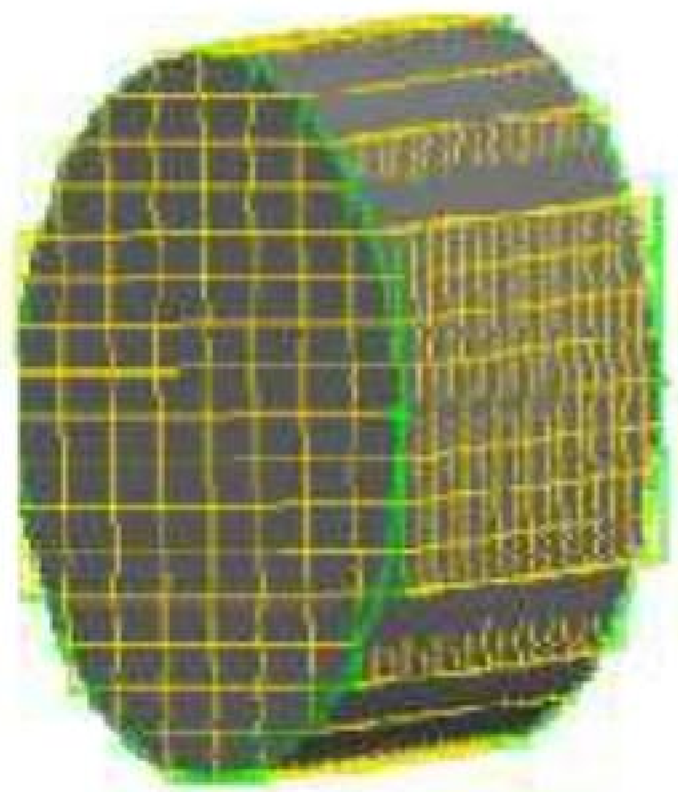
- Hex: Tet-Primitive



- Hex: Cooper

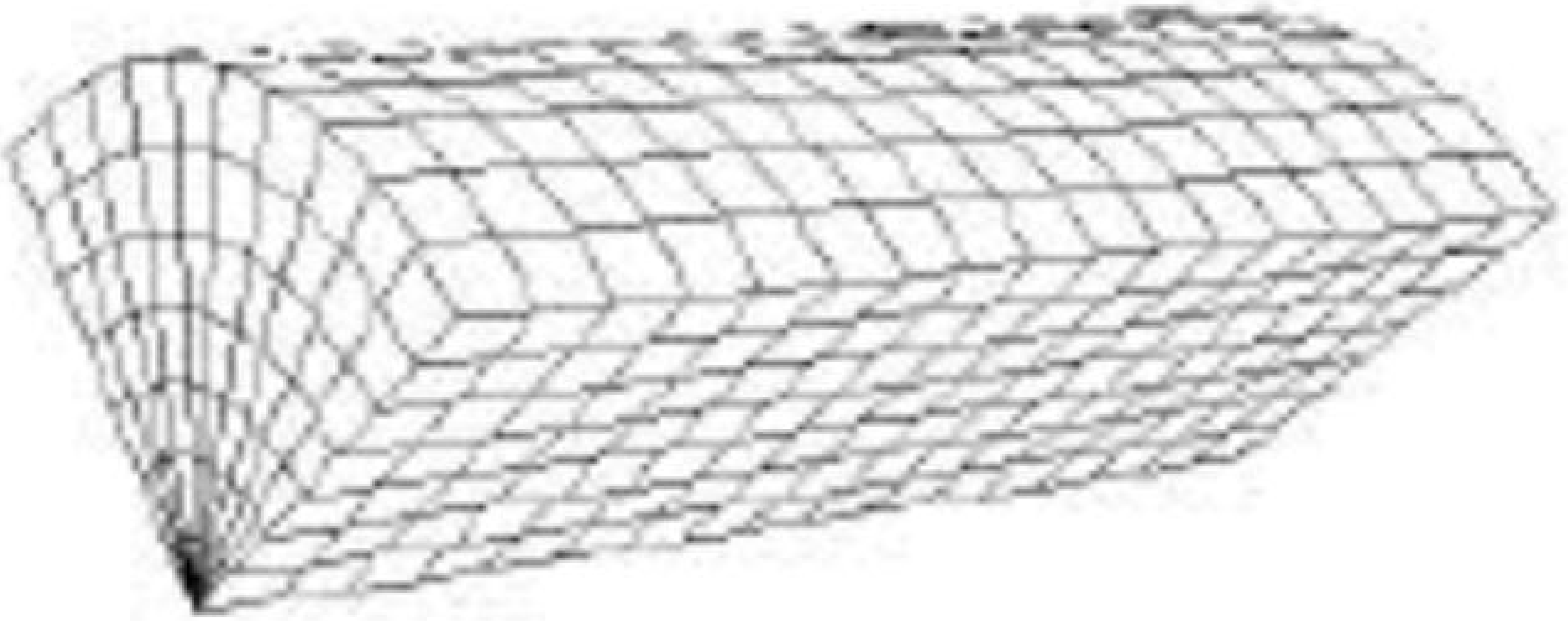


- Hex: Stairstep

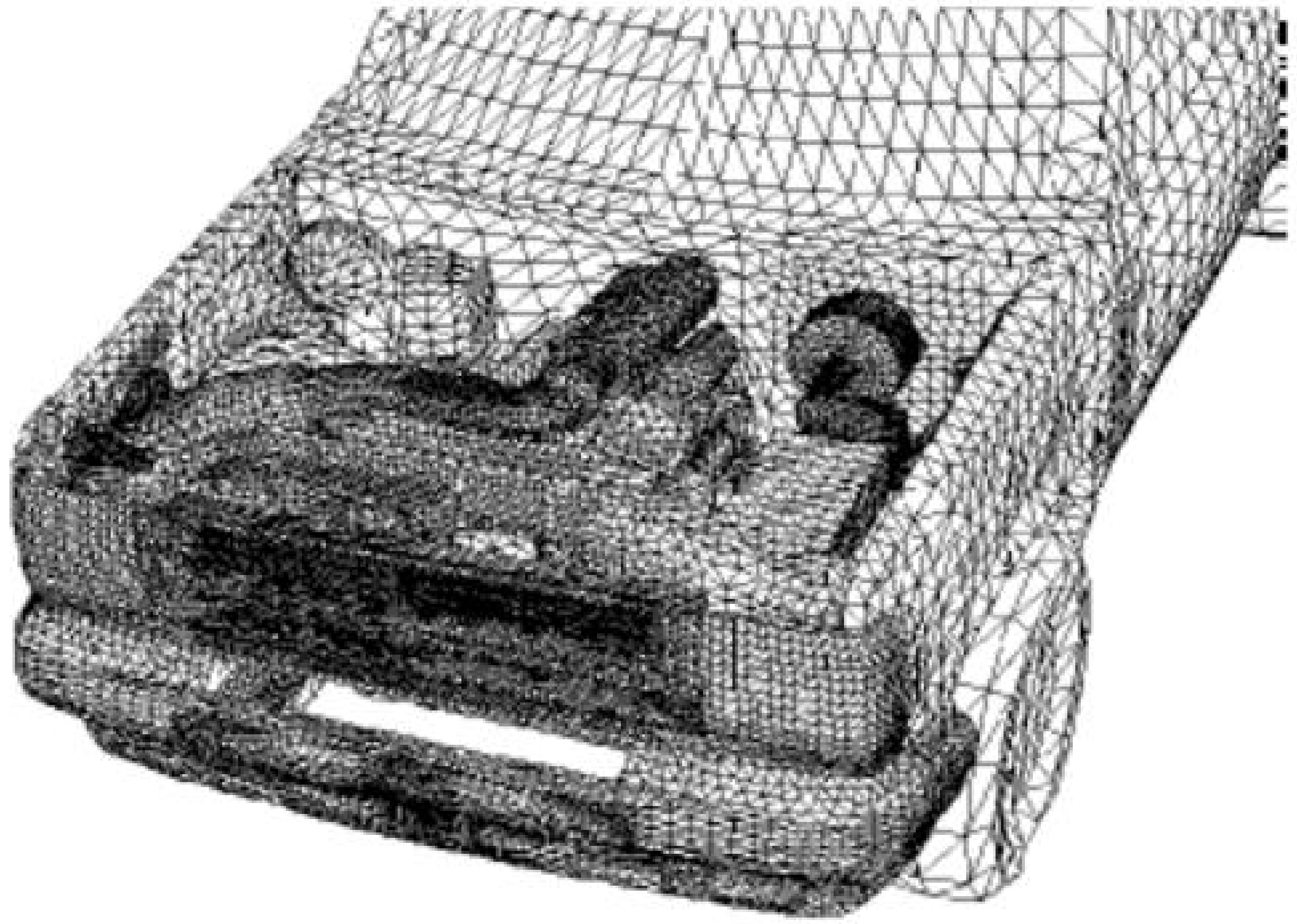


体网格

- Hex/Wedge: Cooper

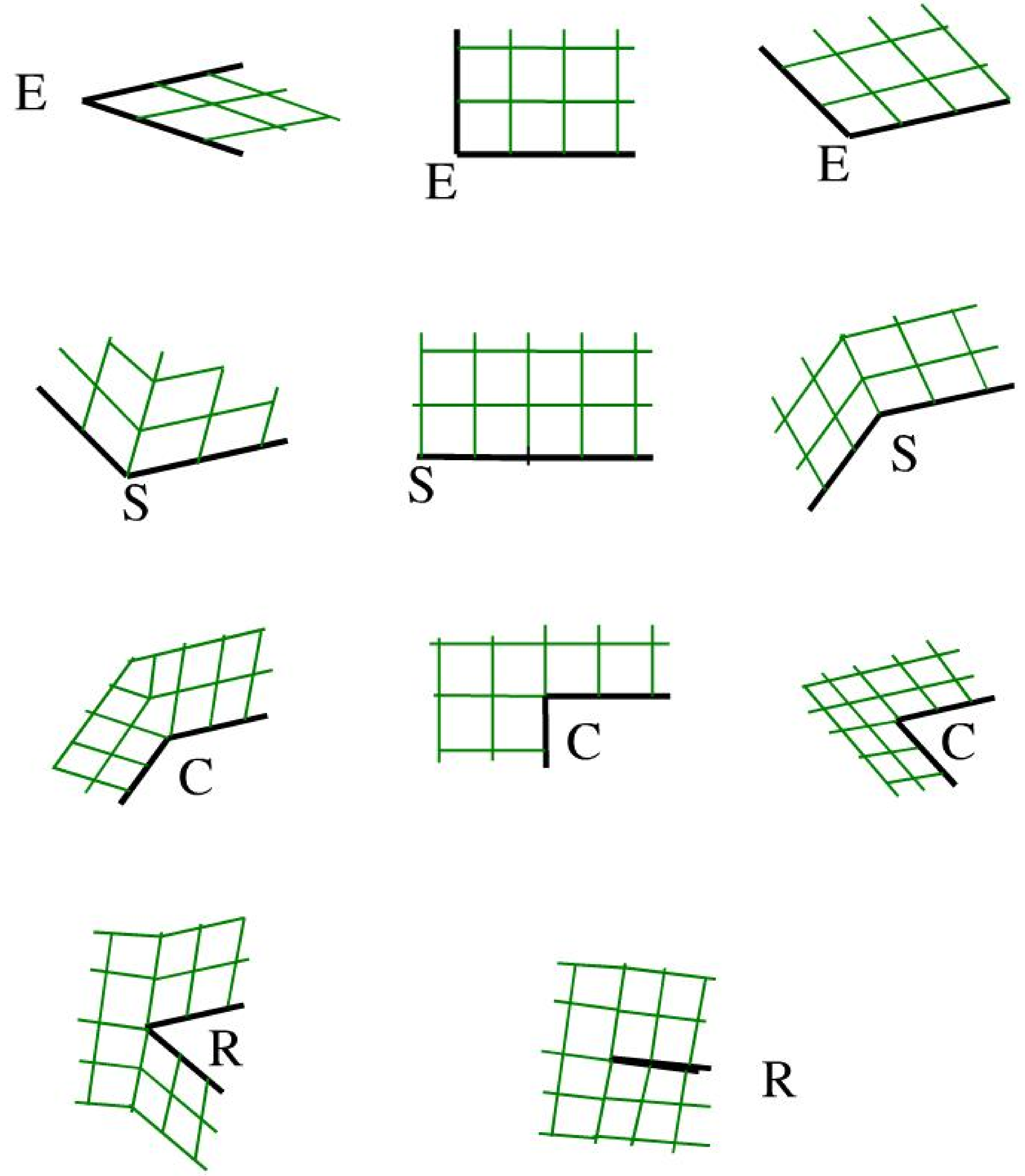


- Tet/Hybrid: TGrid



顶点类型

- End (E)
  - 0 < Default Angle < 120
  - zero internal grid lines
- Side (S)
  - 120 < Default Angle < 216
  - one internal grid line
- Corner (C)
  - 216 < Default Angle < 309
  - two internal grid lines
- Reverse (R)
  - 309 < Default Angle < 360
  - three internal grid lines

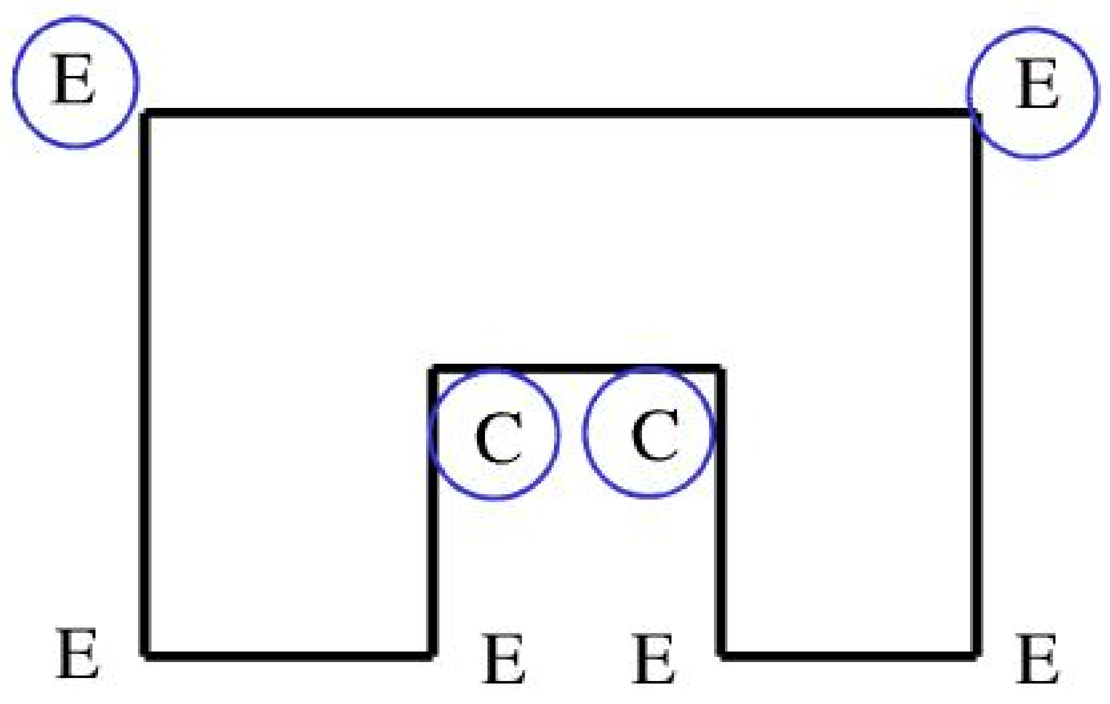


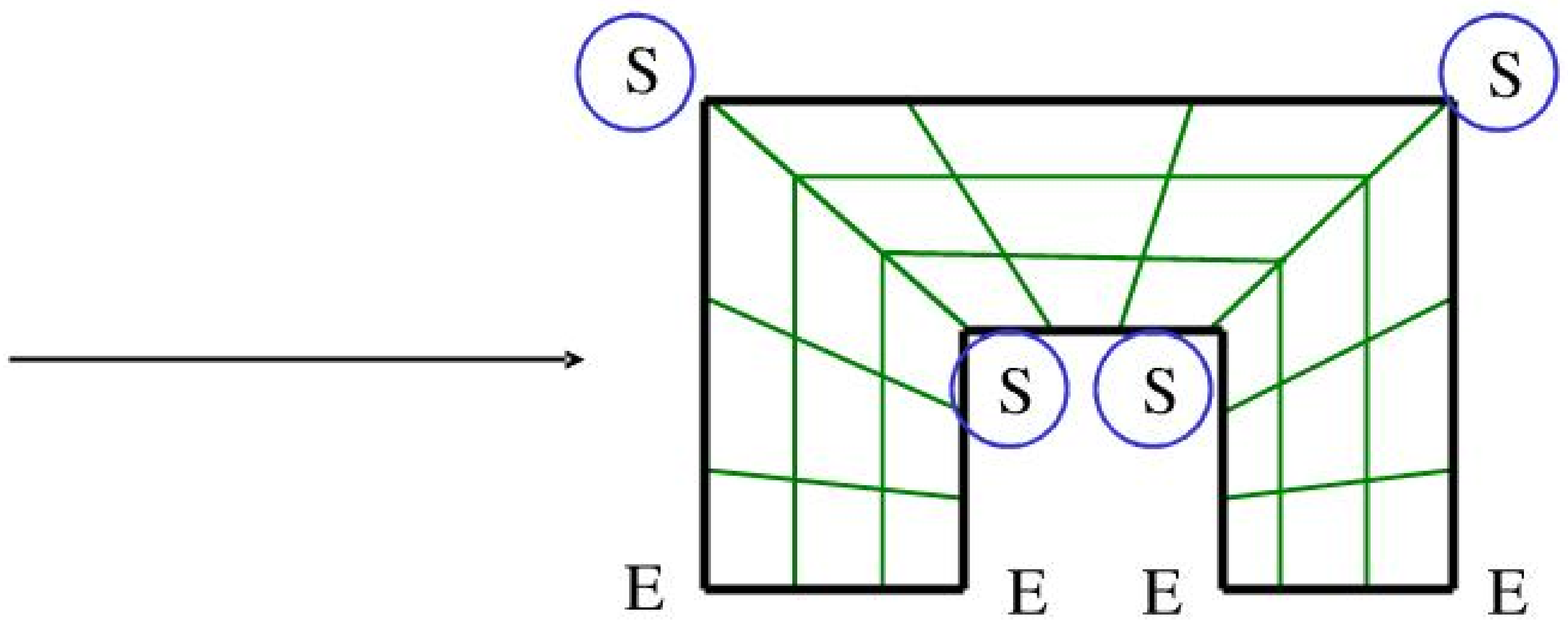
- Formula for map scheme:

  4*End+N*Side

- Formula for submap scheme:

  4*End+ L*Side + M*(E+C) + N* (2*E+R)

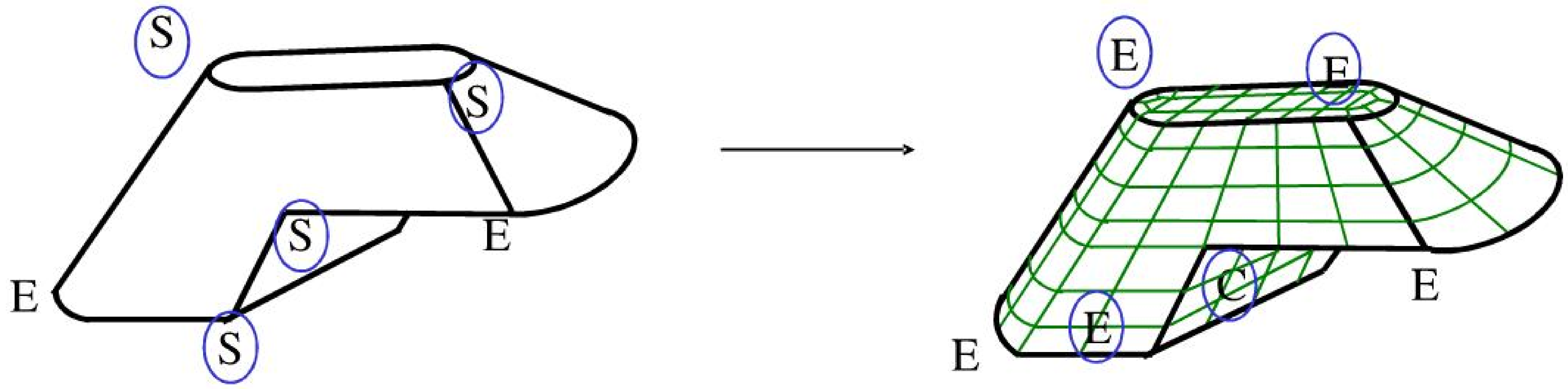




✓ How to Make a Volume Cooperable

Manually change the vertex types on the side faces so they are mappable and/or submappable

Example: manually change the vertex types

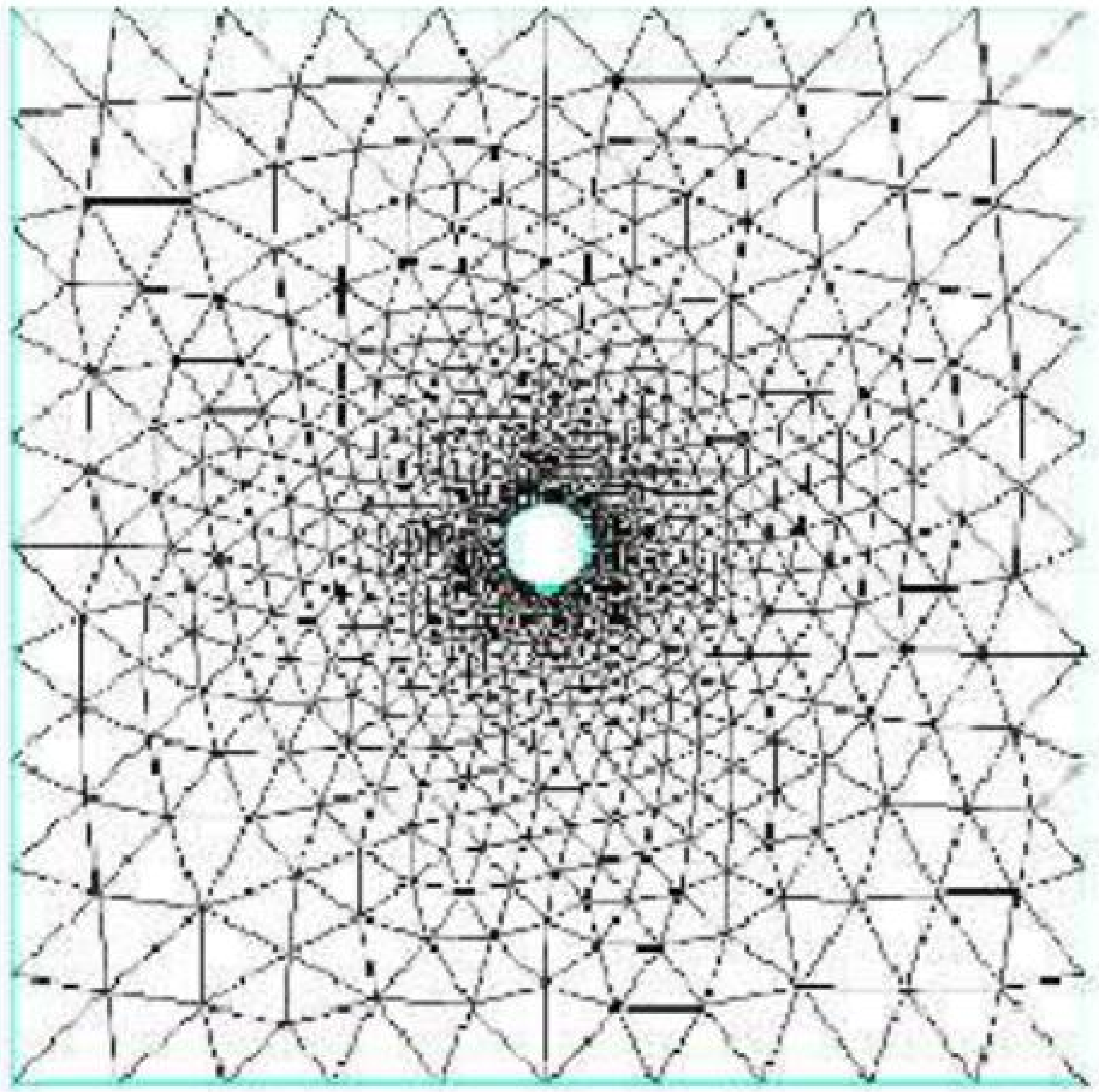


网格划分

- 网格生成质量对计算精度与稳定性影响极大。
- 在几何形状复杂的区域上要生成好的网格相当困难
- Meshing grid number
grid quality
- 超过90%的精力要用在生成合适的网格上

策略

- Boundary layers
- Pre-meshing
- Sizing functions
- 为降低离散误差，减少单元数量，最好使用hex(六面体网格)
- 对形状复杂的几何体可分解成几个简单几何体再用六面体网格

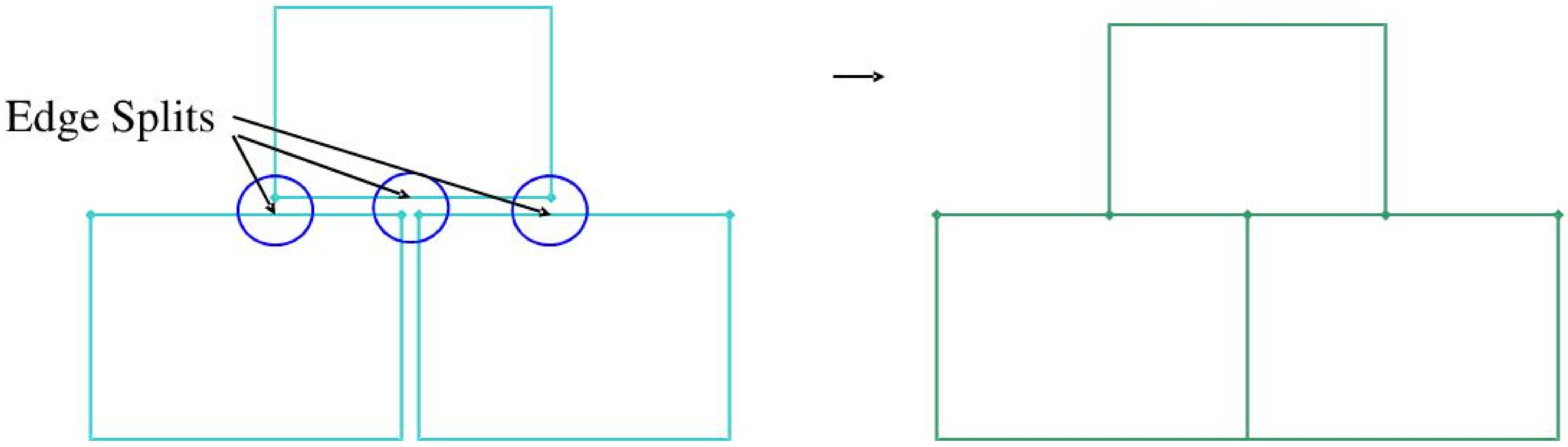


- Gambit可读入其它CFD软件生成的图形
- 也可读入autocad proE等cad软件生成的图形
- CAD中创建的图形要输出为.sat文件， 要满足一定的条件。
  - 对于二维图形来说， 它必须是一个region， 也就是说要求是一个联通域。
  - 对于三维图形而言， 要求其是一个ASCI body

- 由于各软件设置的最小识别尺寸不同，
  导入后的几何体可能会出现：
  - 不完整、有缝隙的几何体
  - 有一些CFD分析时不需要的一些细小的几何结构
- 清理过程主要采用gambit中的虚几何操作。

Example:

unconnected <u>real</u> edges/faces   connected <u>virtual</u> edges/faces



- Gambit中有三类几何体：
  - Real:
  - Virtual:

    根据一个或多个实体(real，称为宿主)来确定其几何描述
  - Faceted geometry(有小面的几何体):

    象virtual 一样处理
- 一些实几何操作对虚几何体不能正常使用

多相流动

- Multiphase flow in fluent
  - 同一物质，不同的相 (气、液、固)
  - 不同的物质相同的相（水和油）
- 整个流体系统分为主相和多个次相
  - 主相看成是连续介质
  - 次相离散分布在 连续相中

Multiphase models

- Dispersed phase model (DPM)： 拉格朗日离散相模型
  - 粒子/液滴/气泡在定常和非定常流动中的粒子轨迹
  - 动量、热和质量与流体之间的耦合
  - 液滴的蒸发和沸腾，湿颗粒的干燥
- Mixture model: N种组分的混合模型
  - 求解混合物的动量方程，通过确定相对速度来描述离散相
- Eulerian multiphase flow model:欧拉多相流模型
  - 针对于N 种固体颗粒的气－固流和液－固流的粒子相模型
  - 对各相求解动量和连续方程
- Volume of fluid model (VOF): VOF 多相流模型
  - 气－液流动或液－液流动，不同组分之间互不相容
  - 自由表面问题，包括表面张力和壁面接触角的影响(不混溶的流体之间有明显的分界面

Radiation

- Surface to surface (S2S): 模拟封闭体内辐射传输，不考虑参与性介质的辐射
- Rosseland：扩散近似法，当光学厚度(衰减系数*几何光学长度)大于3时使用。
- P1：考虑散射，适于光学厚的介质
- Discrete transfer (DTRM)：不考虑散射，精确，适于光学薄的介质
- Discrete ordinates (DOM)：考虑散射，精确，适于光学薄的介质

化学反应和燃烧

- Species transport: 不考虑化学反应的组分传输，通过求解组分传输方程
- Non-premixed combustion (无预混的燃烧模型): 燃料和氧化剂分别从不同入口流入反应区
- Premixed combustion (预混的燃烧模型): 反应物在进入反应区前进行混合
- Partially premixed combustion (部分预混的燃烧模型)

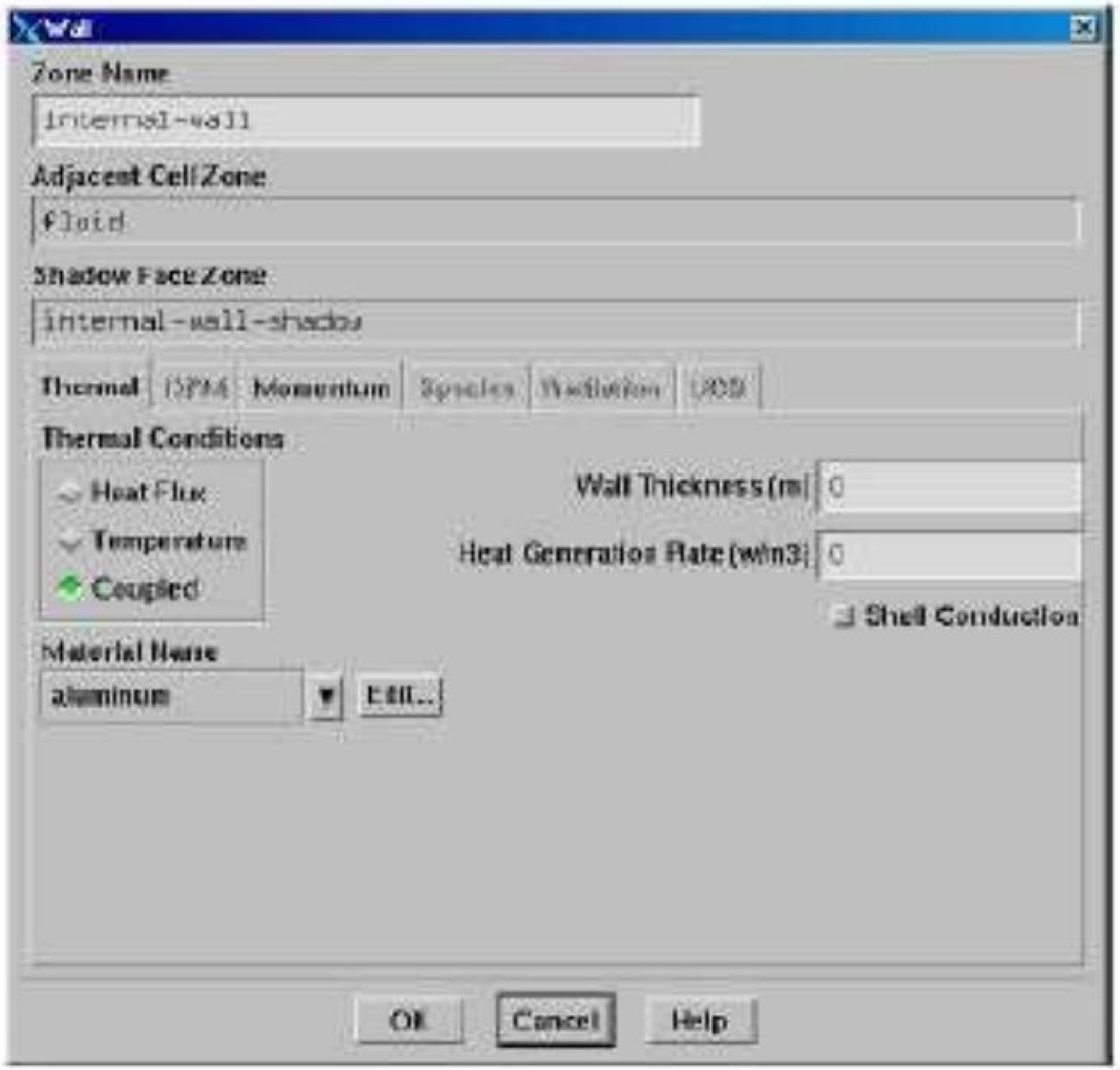
Solidification/melting model

- 可以求解在某一温度或一定温度范围内有凝固或融化发生的流动过程
- 纯金属或二元合金的液/固凝固/融化过程
- 连续浇铸的铸造过程
- 凝固材料与壁面的接触热阻

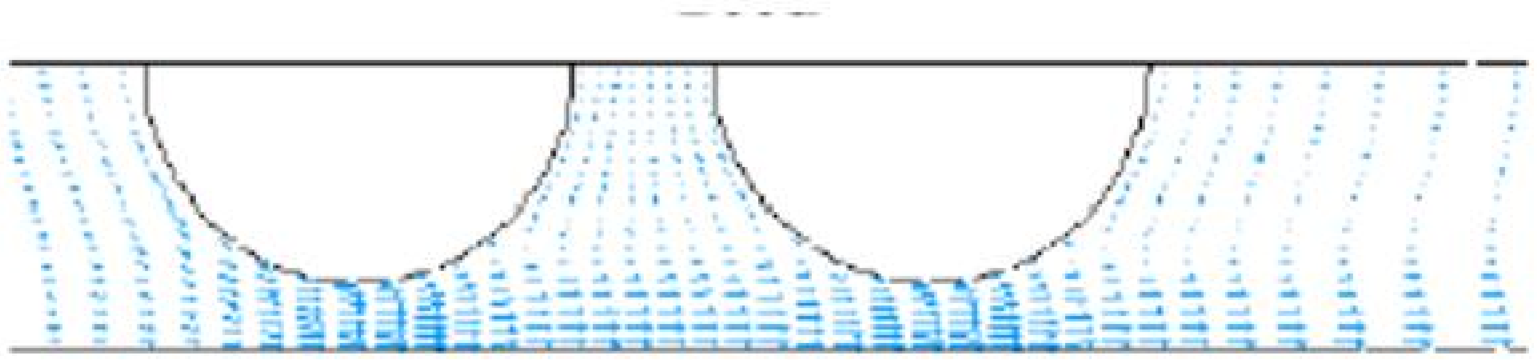
Pollutant formation(污染物的形成过程)

- 氧化氮（NO, NO_2, N_2O）
  - 只能采用segregated solver
  - 可以与预混燃烧模型同时使用
- 燃烧系统中烟灰形成过程的模拟
  - 只能采用segregated solver
  - 可以与预混燃烧模型同时使用
  - 可以考虑烟灰的辐射吸收作用
  - 只能对湍流流动进行模拟

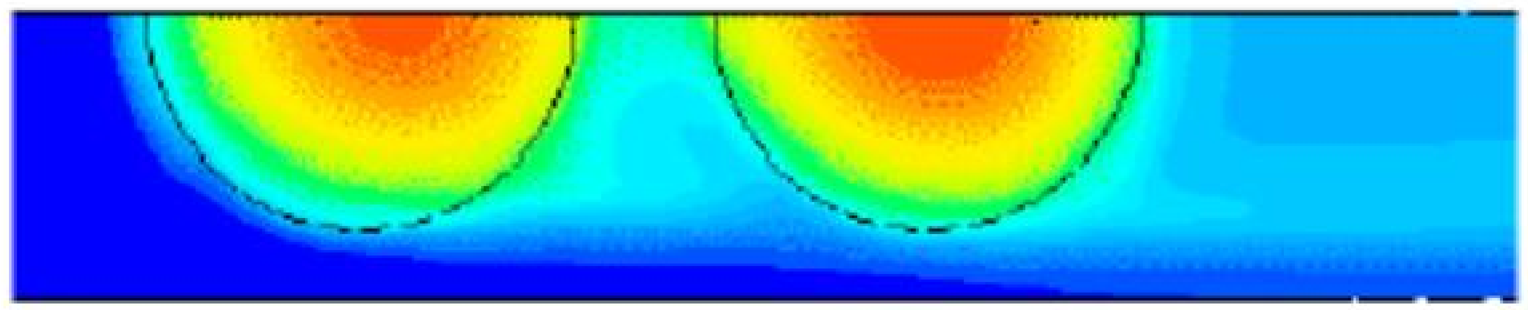
共同传热（Conjugate heat transfer）



- 流体自然对流，耦合固体导热
- 耦合边界条件：用在壁面边界，区分两种介质



Velocity vectors



Temperature contours

Moving zones

- 计算流动问题：
  - 旋转部件：叶轮机械
  - 移动或转动的表面：火车会车

Moving zones

- 方法
  - Single reference frame (SRF): 整个计算区域都在旋转坐标系内
  - Multiple reference frame (MRF): 选定的区域在旋转坐标系内
  - Mixing plane (MPM): 在旋转和静止区域的交界面使用混合平面来考虑相邻区域的影响，如多级的叶轮机械
  - Sliding mesh (SMM): 用网格移动算法来考虑特定区域的运动

User defined functions (UDF)

- 链接在求解器上的用户自己编制的C语言程序
- UDF的主要应用：
  - 定义边界条件、源项、物性
  - 壁面热流
  - 初始化
  - 在计算中加入用户定义的标量传输方程，例如：在计算流场时可以计算磁场或电场

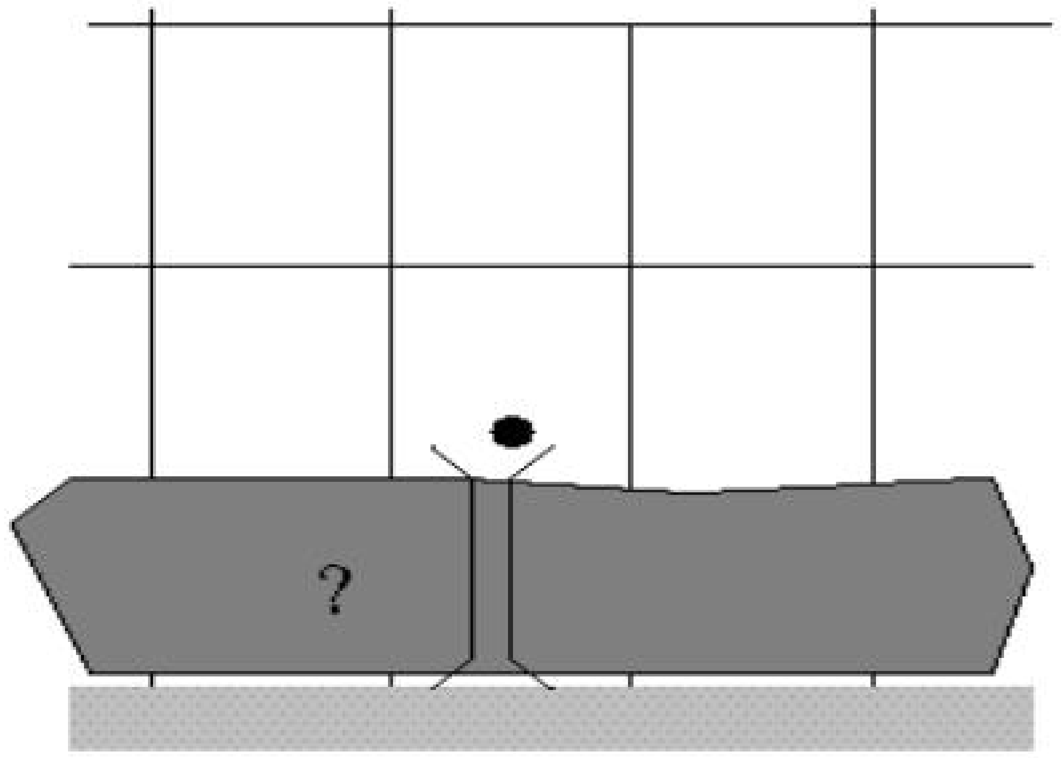
- Inviscid
- Laminar
- Reynolds时均方程方法：
  - 湍流粘性系数法
  - Reynolds应力方程法
- Large Eddy Simulation （only 3D）

- Spalart-Allmaras：一方程模型
  - 不适于自由剪切流动、分离流动，多用于外流，如航空航天问题。准2D问题，如翼型绕流
- Standard κ-ε:
  - 应用最为广泛的湍流模型，高Re数模型，不适于分离流动，
- RNG (renormalization group重正规化群) κ-ε：
  - 考虑了旋流、低雷诺数的作用，
  - 适于自由剪切流动。主要应用于旋转机械，主要用于旋转坐标系下的流动问题
- Realizable κ-ε :
  - 主要用于射流、大分离、回流等问题
- Standard κ-ω :
  - 适于剪切流动，低、高Re数均可
- SST (shear-stress transport) κ-ω：
  - 对近壁和远场都适用，对剪切流动的处理不如Standard κ-ω
- Reynolds Stress:
  - 可以计算各向异性旋涡，难于收敛，适于计算弯曲流道、强的旋涡或旋转

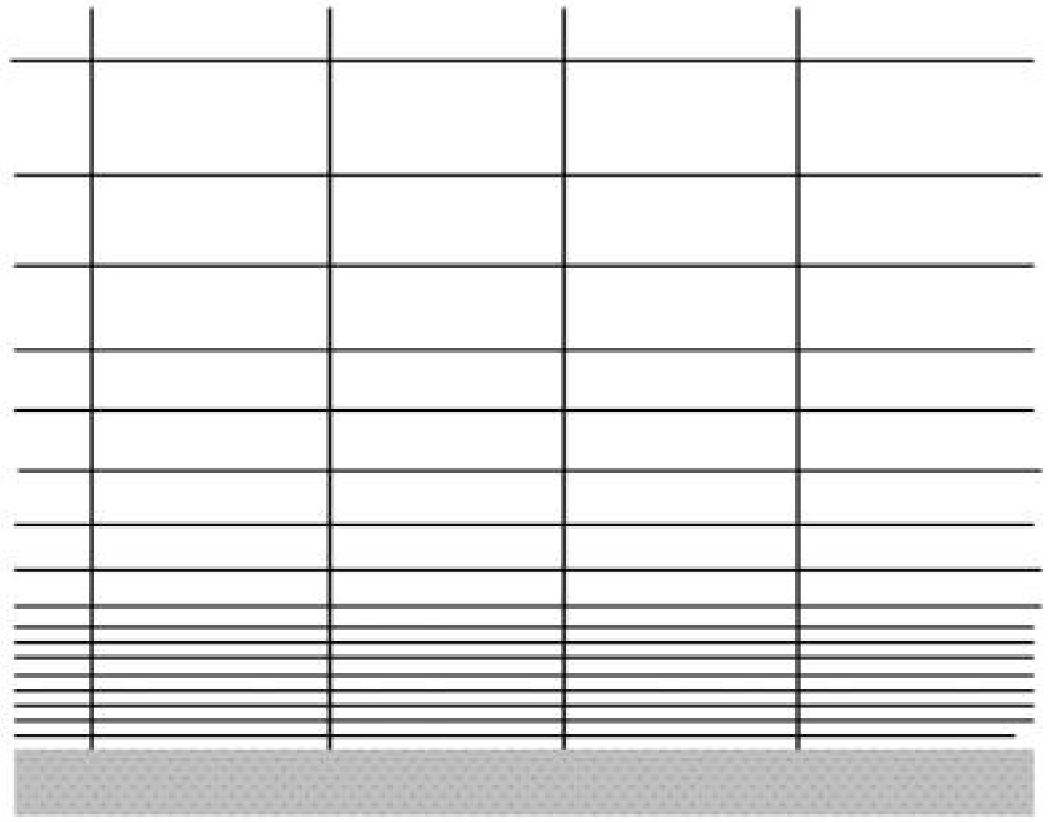
近壁处理及第一个网格的位置

- κ-ε和RSM适用于离开壁面一定距离的湍流区域
- 两种方法：
  - 壁面函数法
    - Standard wall functions
    - Non-equilibrium wall functions
      大的压力梯度和非平衡流动
    - Enhanced wall functions
  - 近壁模型法
    - S-A和 κ-ω 模型

$$y^+ = \sqrt{\tau_w / \rho}\, y / \upsilon$$



$$y^+ \approx 30 \sim 300$$



$$y^+ \approx 1$$

Operating pressure:

- 不可压理想流体： ρ = Poperating/RT
- 低马赫数可压流体： 舍入误差

Recommended Settings for Operating Pressure		
Density Relationship	Mach Number Regime	Operating Pressure
Ideal Gas Law	$M > 0.1$	0 or ≈Mean Flow Pressure
	$M < 0.1$	≈Mean Flow Pressure
Profile Function of Temperature	Incompressible	not used
Constant	Incompressible	not used
Incompressible Ideal Gas Law	Incompressible	≈Mean Flow Pressure

高马赫数，习惯上使用绝对压力，Pop=0

Flow inlet and exit boundaries:

- **General**:

  Pressure inlet 给定流动入口的总压和其他标量

  Pressure outlet 给定出口处的静压

- **Incompressible**:

  Velocity inlet 给定入口处的流速和其他标量

  Outflow 对于出口处流速和压力不知道的情况

  不能与pressure outlet一起用

- **Compressible flows**:

  Mass flow inlet 规定入口的质量流量

  Pressure far-field 无穷远处的自由流条件

- **Special**:

  Inlet vent, outlet vent, 指定损失系数

  intake fan, exhaust fan，指定压力跳跃

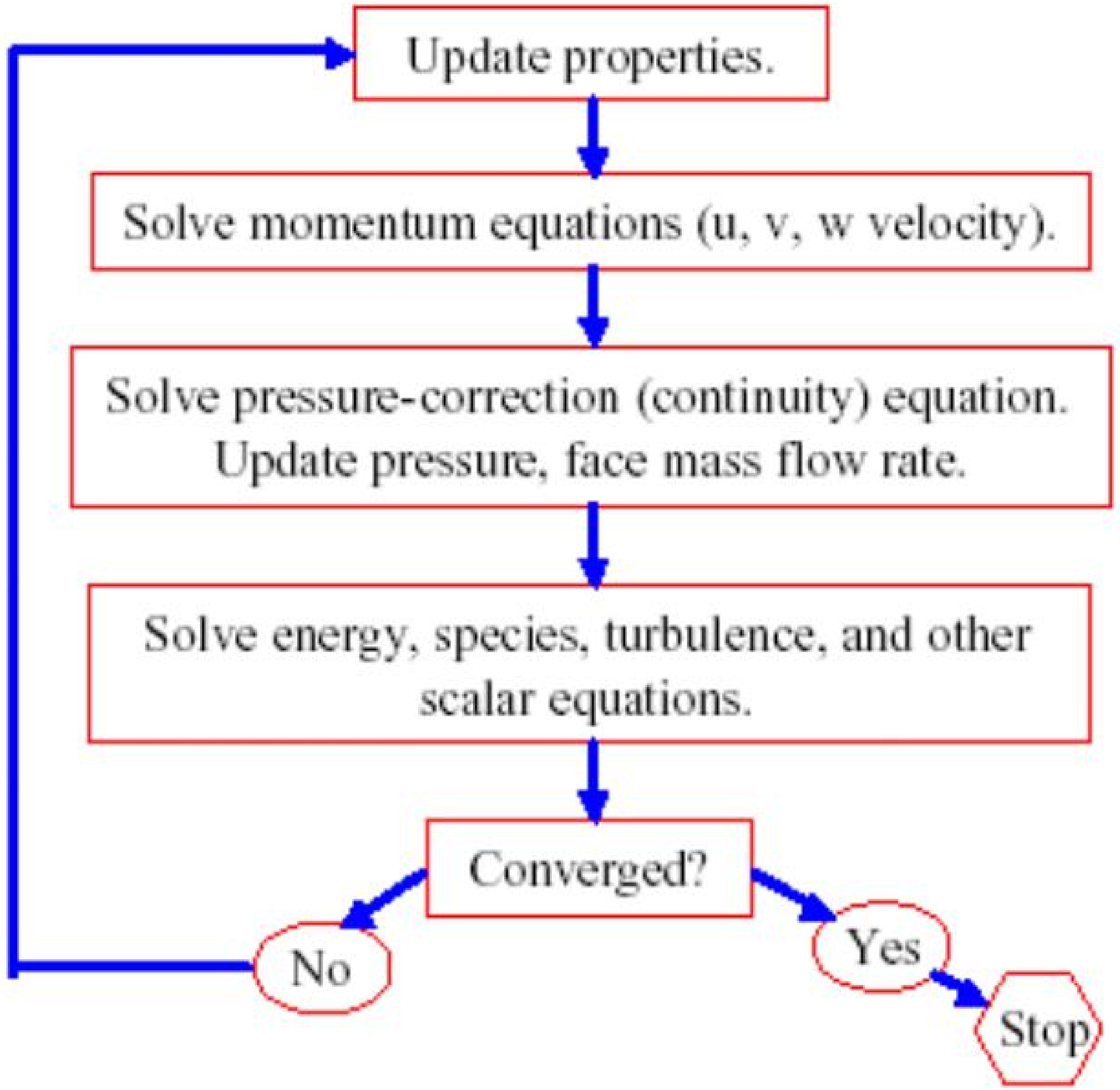
- wall, symmetry, periodic, axis
- Internal cell zones:

  fluid, solid (porous is a type of fluid zone)
- Internal face boundaries:

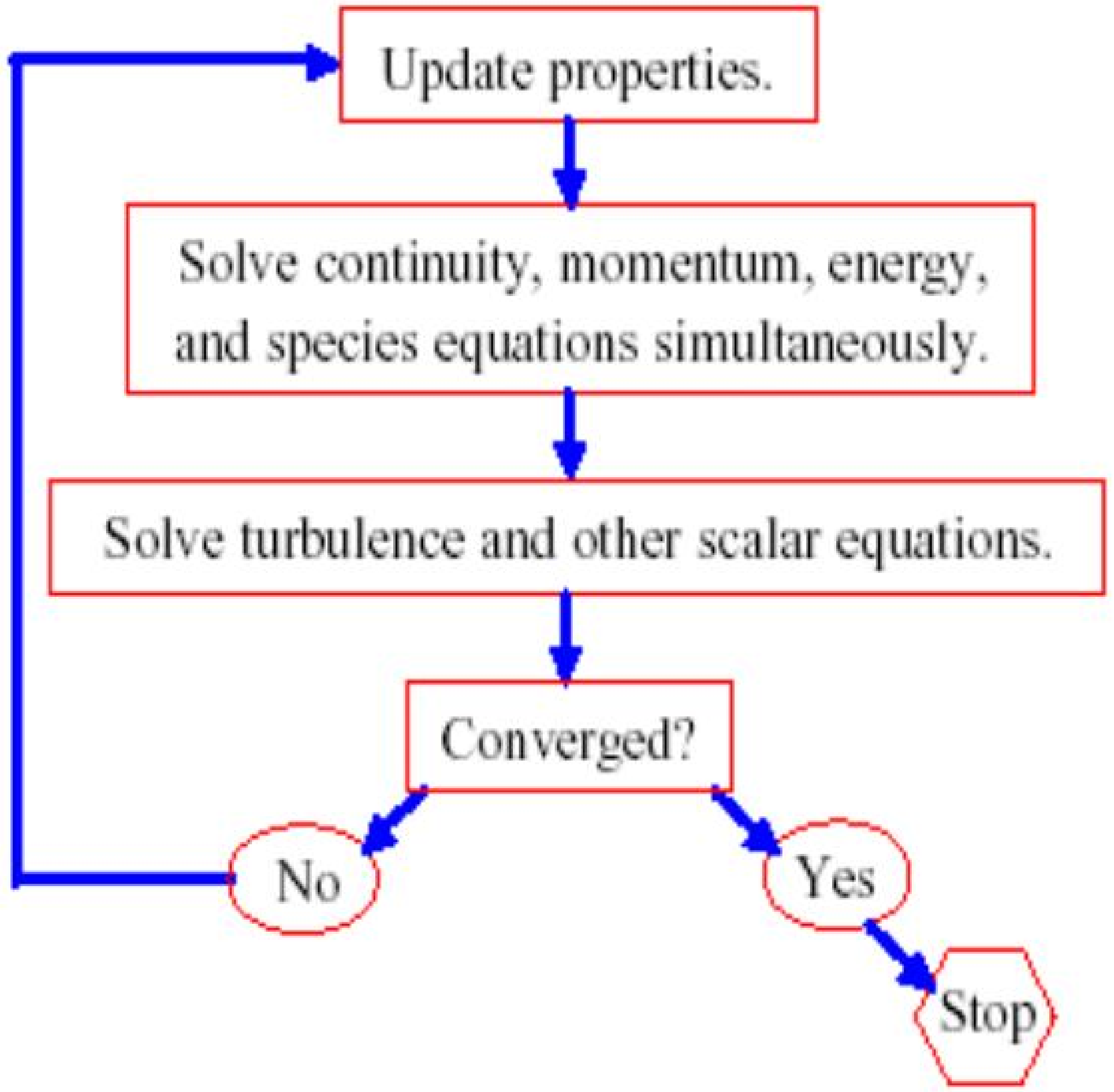
  引入流动参数阶梯变化

  fan, radiator, porous jump, wall, interior

Segregated Solver



Coupled Solver



FLUENT offers a number of interpolation schemes:

- First-Order Upwind Scheme
  - easiest to converge, only first order accurate.
- Power Law Scheme
  - more accurate than first-order for flows when Recell< 5 (typ. low Re flows).
- Second-Order Upwind Scheme
  - uses larger ‘stencil’ for 2nd order accuracy, essential with tri/tet mesh or when flow is not aligned with grid; slower convergence
- Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)
  - applies to quad/hex and hyrbid meshes (not applied to tri’s), useful for rotating/swirling flows, 3rd order accurate on uniform mesh.

Pressure-Velocity Coupling

- SIMPLE
  - default scheme, robust
- SIMPLEC
  - Allows faster convergence for simple problems (e.g., laminar flows with no physical models employed).
- PISO
  - useful for unsteady flow problems or for meshes containing cells with higher than average skew.

FLUENT interpolation schemes for Face Pressure:

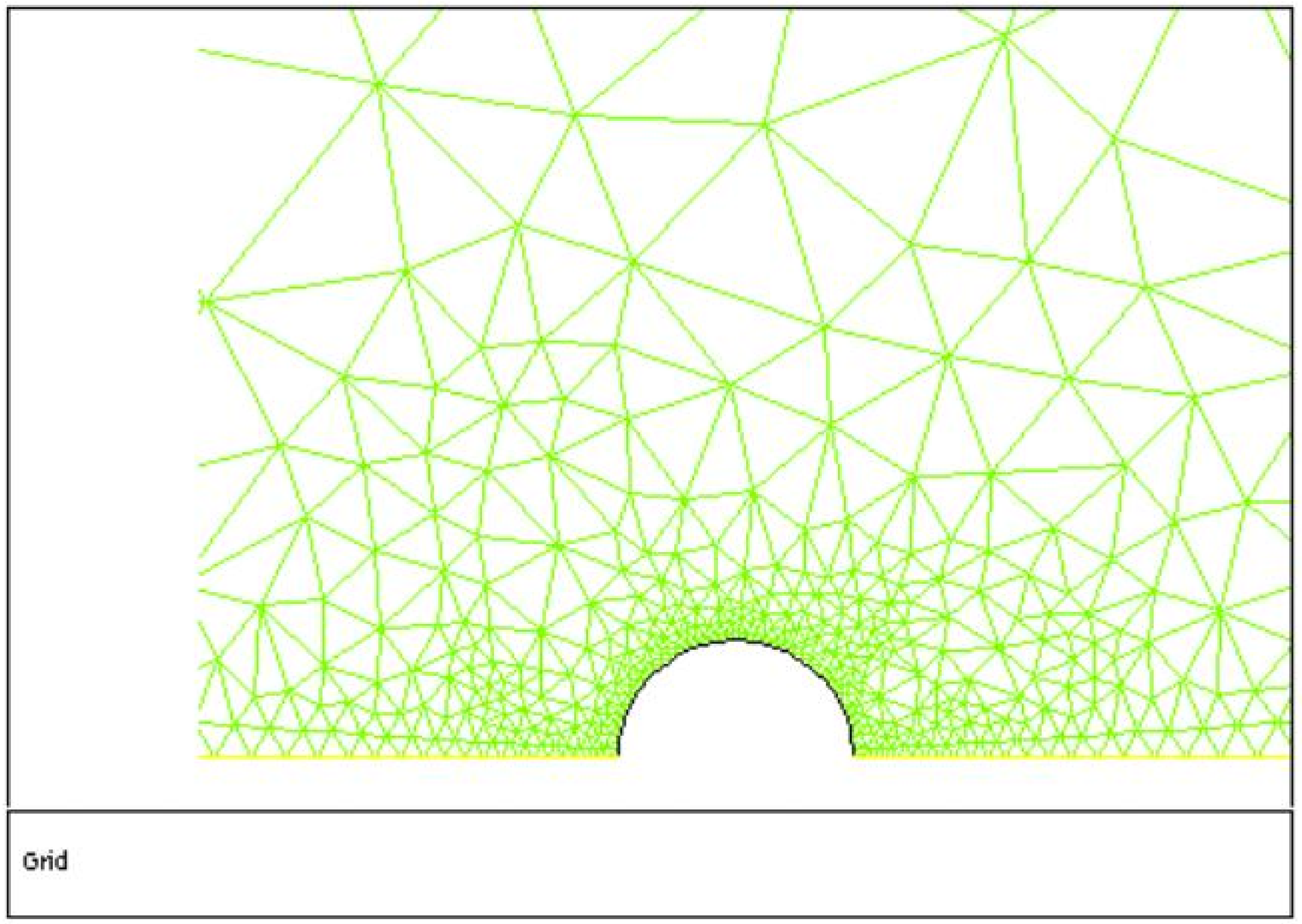
- Standard
  - default scheme; reduced accuracy for flows exhibiting large surface-normal pressure gradients near boundaries.
- Linear
  - use when other options result in convergence difficulties or unphysical behavior.
- Second-Order
  - use for compressible flows; not to be used with porous media, jump, fans, etc. or VOF/Mixture multiphase models.
- Body Force Weighted
  - use when body forces are large, e.g., high Ra natural convection or highly swirling flows.
- PRESTO!
  - use on highly swirling flows, flows involving porous media, or strongly curved domains.

- 得到可靠的CFD数据(对fluent而言)
  - 正确选择物理模型和边界条件
  - 高质量的网格
    - 一般纵高比不超过5：1（除边界层网格外）
    - 相邻网格的grading最好不要超过1.2

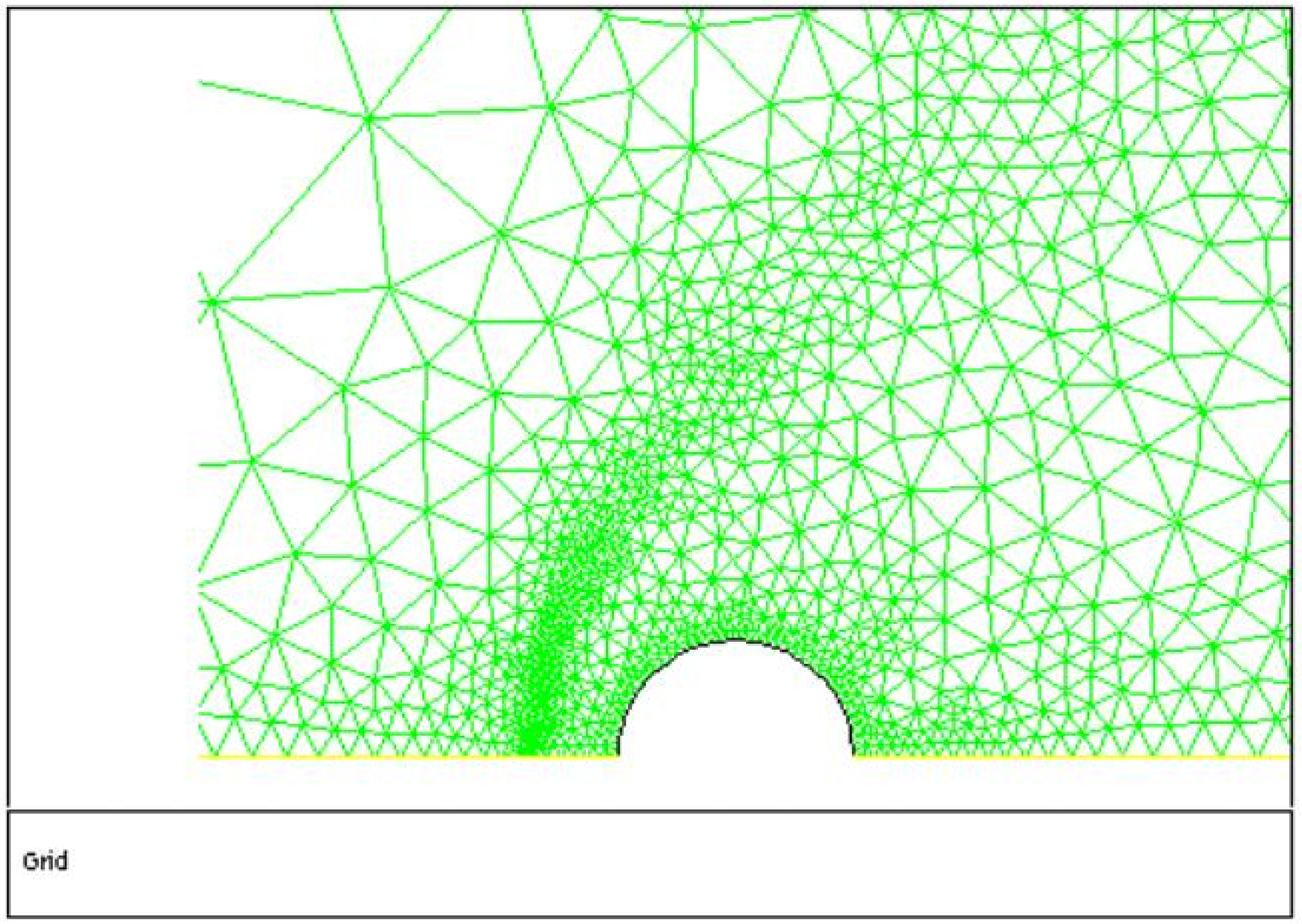
◆ 提高精度：

- 采用2阶离散格式
- 确定解是不依赖于网格的

采用自适应网格来改进网格



Original mesh



Mesh after pressure gradient adaption

- 任何CFD计算结果都要进行检验
  - 应用计算流体力学理论
  - 应用实验数据
  - 其他CFD数据
- 高质量的CFD模拟结果是建立在对流体机理的正确理解

参考

1. 流体中文网：http://cfluid.imcas.net/cgi-bin/LB5000/leoboard.cgi
2. 傲雪论坛：http://www.wjjhn.com
3. 清华大学BBS
4. 北京海基公司
5. Fluent 帮助文件